

**МЕДВЕДЕВ В.С.**, докт. техн. наук, главный научный сотрудник,  
**РАЗИНЬКОВ Н.А.**, инженер  
УкрГНТЦ «Энергосталь», Харьков

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАСТЕЙ ШНЕКОВ ШТАМПОВКОЙ

Рассмотрена технология изготовления шнеков способом горячей формовки в штампе разрезных колец с последующей их сваркой. Даны зависимости для расчета размеров исходной заготовки и штампа. Определены параметры геликоидальной поверхности штампа, при которых отсутствует проворачивание верхней подвижной его части относительно нижней неподвижной.

Розглянуто технологію виготовлення шнеків засобом гарячого формування у штампі розрізного кільця з наступною зваркою. Представлено залежності до розрахунку розмірів вихідної заготовки і штампа. Визначено параметри гелікоїдальної поверхні штампа, за яких відсутній поворот верхньої рухомої його частини відносно нерухомої.

Technology for manufacture of screw conveyers using method of hot molding in die of split collars with their following welding is considered. Dependencies for size calculation of raw billet and die are given. Parameters of die helicoidal surface under which there is no turning of its upper mobile part relative to lower immovable are determined.

Производство машин горно-металлургического, сельскохозяйственного и химического назначения для добычи и транспортировки сыпучих продуктов, в частности полезных ископаемых (каменный уголь, руды различных металлов), зерна, сырья для химической промышленности, связано с изготовлением винтовых геликоидальных шнеков (рис. 1), являющихся одним из основных рабочих элементов данных машин.

Различают три принципиальных способа получения лопастей шнеков с геликоидальной поверхностью [1]. В поперечном сечении лопасть имеет вид прямоугольника.



Рис. 1. Шнек однозаходный (а) и двухзаходный (б)

По первому способу лопасть шнека прямоугольного сечения изготавливают прокаткой из трапецевидной заготовки [1, 2]. В результате не равномерной высотной деформации (по ширине раската) на выходе из валков полоса изгибается в горизонтальной плоскости с образованием геликоидальной поверхности. При этом в зависимости от степени неравномерности деформации по ширине можно получить лопасть шнека различного диаметра. При прокатке применяют как цилиндрические, так и конические валки. Данный способ высокопроизводителен, позволяет получать шнеки практически неограниченной

длины, но требует наличия оборудования, имеющего сложности в освоении, а также операций калибровки шага на выходе из прокатных клетей.

Второй способ предусматривает навивку полосы прямоугольного сечения на цилиндрическую оправку под углом  $90^\circ$ . Навивка производится сплошную (виток к витку) с последующей операцией калибровки шага.

Данный способ высокопроизводителен. Навивка производится на специальном оборудовании – навивочных станках. Недостатки данного способа – необходимость использования специального навивочного оборудования и дополнительной оснастки, ограничивающей степень свободы металла при навивке полос с отношением ширины к толщине больше 5. При еще больших отношениях высока вероятность появления гофров по внутреннему диаметру лопасти и разрывов по ее наружному диаметру.

По третьему способу лопасть шнека изготавливают из разрезанного кольца путем его растяжения до образования геликоидальной поверхности единичного шага (исходные кольцевые заготовки вырезаются из листа). Далее лопасти свариваются между собой в геликоидальную заготовку требуемой длины. Достоинство данного способа – относительная простота в изготовлении, не требующая использования сложного специального оборудования, недостатки – низкая производительность и большой расход металла.

В данной статье изложена технология изготовления лопастей шнеков штамповкой разрезных колец единичного шага, которая была использована при производстве шнеков угледобывающих комплексов «УД-БШК-2ДМ» на ГП «Завод им. Малышева» [3].

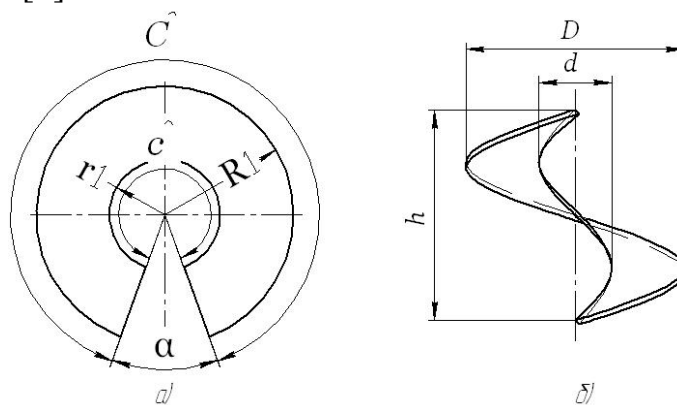


Рис. 2. Исходная заготовка (а) и отформованная лопасть (б)

Лопасть шнека (рис. 2) представляет собой однозаходный виток винтовой геликоидальной поверхности с наружным диаметром 480 мм и внутренним – 160 мм. Шаг витка – 460 мм. Материал – сталь 20 ГОСТ1050-88.

Лопасть формируется в штампе из разрезного кольца с сегментным вырезом (рис. 3,а), формовка осуществляется в горячем состоянии.

Размеры разрезного кольца определяются из геометрических соотношений [4].

Внутренний радиус кольца

$$r_1 = \frac{ac}{(C - c)},$$

где  $a$  – ширина геликоидальной поверхности лопасти

$$a = \frac{(D - d)}{2};$$

$C$  – длина участка винтовой линии по наружному диаметру

$$C = \sqrt{(\pi^2 D^2 + h^2)};$$

$c$  – длина участка винтовой линии по внутреннему диаметру

$$c = \sqrt{(\pi^2 d^2 + h^2)};$$

$h$  – шаг винтовой поверхности.

Наружный радиус кольца

$$R_1 = r_1 + a.$$

Угол выреза сектора

$$\alpha = \frac{(2\pi R_1 - C)360^\circ}{2\pi R_1}.$$

Разрезное кольцо вырезается из листа толщиной 12 мм при помощи ацетилено-кислородного резака. Наплывы металла после резки по внутреннему и наружному контурам удаляются полой вырубкой и абразивной зачисткой.

Штамп (рис. 3) состоит из двух частей: верхней 1 – подвижной и нижней 2 – неподвижной. Обе части сопрягаются по винтовой поверхности (геликоиду). Штамп имеет направляющую колонку 3. Верхняя часть штампа крепится к ползуну пресса при помощи хвостовика типа «ласточкин хвост» со шпонкой и клином 4. Нижняя часть штампа крепится к столу пресса с помощью пробок 5.

Определяем размеры рабочей поверхности штампа.

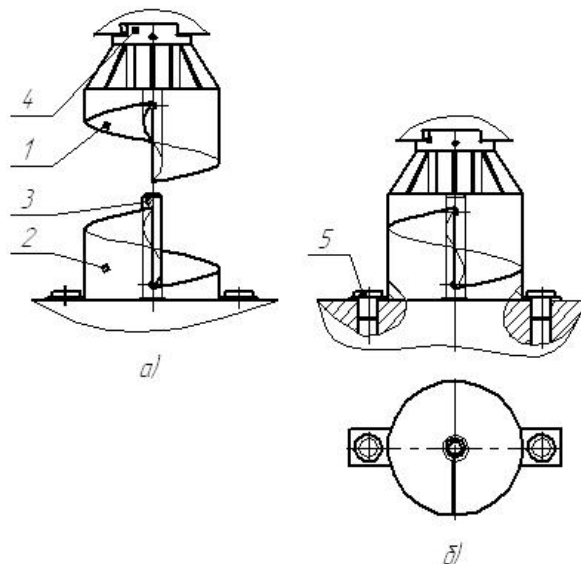


Рис. 3. Штамп для формовки лопасти шнека в раскрытом (а) и закрытом (б) состояниях

Основными параметрами геликоидальной поверхности являются: наружный диаметр, шаг и направление навивки. Рабочая поверхность штампа имеет форму однозаходного геликоида с правым направлением навивки. Геометрия геликоида определяется параметрическими уравнениями [5]

$$\begin{aligned}x &= U \cos V, \\y &= U \sin V, \\z &= HV,\end{aligned}\tag{1}$$

где  $U, V, H$  – параметры поверхности в полярной системе координат.

Здесь

$$H = \frac{h}{2\pi}.$$

Параметрические уравнения (1) полностью определяют геликоидальную поверхность в трехмерном Евклидовом пространстве.

Для единичного шага геликоидальной поверхности одного оборота с  $D = 480 \text{ мм}$ ,  $h = 460 \text{ мм}$  уравнения (1) будут иметь вид:

$$\begin{aligned}x &= R_B \cos \varphi, \\y &= R_B \sin \varphi, \\z &= \frac{\varphi}{\pi} 230,\end{aligned}\tag{2}$$

где  $R_B$  – радиус винтовой линии образующей геликоида, изменяющийся в пределах  $0 \leq R_B \leq 240$ ;

$\varphi$  – угол поворота радиус-вектора вокруг оси аппликат ( $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ ).

Наружный диаметр геликоида штампа выбирается на 100–150 мм большим, чем наружный диаметр исходного разрезного кольца. Диаметр колонки равен диаметру отверстия штампованной лопасти плюс гарантированный двусторонний зазор для обеспечения легкого съема и удаления ее из ручья штампа.

На ГП «Завод им. Малышева» в качестве технологического оборудования для штамповки лопастей шнеков использовался гидравлический ковочный пресс с номинальным усилием на ползуне 15МН.

Кольцевые заготовки (рис. 2,а) нагревались в камерной газовой печи до температуры 1000 °С и подавались на штамповку по одной. Заготовки устанавливались на направляющую колонку штампа 3 с совмещением кромки заготовки и нижней кромки ручья штампа. Штамповка лопасти производилась в 2 этапа.

На первом этапе осуществлялась предварительная формовка с фиксированным ходом пресса на 2/3 высоты шага готовой лопасти. Цель предварительной формовки – обеспечение правильной укладки заготовки в ручей по колонке и совмещение кромок перед операцией окончательной формовки. Далее верхняя часть штампа 1 возвращалась в исходное положение.

Предварительно отформованная лопасть поворачивалась вокруг оси до совмещения кромки заготовки и нижней кромки ручья штампа.

На втором этапе осуществлялась окончательная формовка лопасти с выдержкой под давлением в течение 1–2 минут. Температура конца штамповки составляла 650–700°С.

Окончательно отформованная лопасть извлекалась из ручья штампа и укладывалась на металлический пол, где охлаждалась на спокойном воздухе до температуры окружающей среды.

Рассмотрим силы, возникающие в штампе в процессе пластической деформации лопасти (рис. 3) – массу верхней части штампа не учитываем.

Имеем пару сил:  $\vec{P}$  – усилие, необходимое для пластической деформации заготовки;  $\vec{R}$  – реакция от силы  $\vec{P}$  со стороны опоры (стола прессы), равная ей по величине и противоположная по направлению.

Введем плоскую прямоугольную систему координат  $XOY$  с началом в точке пересечения образующей винтовой поверхности с вертикальной осью (рис. 4).

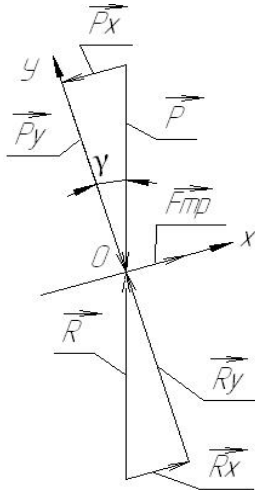


Рис. 4. Схема сил, действующих на рабочие части штампа (плоскость  $OX$  – плоскость разреза штампа)

Сначала качественно оценим влияние составляющих сил в процессе штамповки на рабочие части штампа. Для этого разложим действующие силы на нормальные составляющие и тангенциальные. На рис.4 представлено, что сила  $\vec{P}_x$  вызывает появление крутящего момента, что неблагоприятно сказывается на элементах крепления штампа к ползуну прессы и на направляющих ползуна. Силе  $\vec{P}_x$  противодействует сила трения скольжения  $\vec{F}_{tr}$ , которая выполняет положительную роль, так как противостоит крутящему моменту от силы  $\vec{P}_x$ . Сила  $\vec{P}_y$  с ростом угла  $\gamma$  уменьшается.

Определим величину угла  $\gamma$  при разных коэффициентах трения  $\mu$  (при условии равенства равнодействующей сил  $\vec{F}_{tr}$  и  $\vec{P}_x$  нулю).

Принятые допущения: взаимодействие верхней и нижней частей штампа происходит по всей площади винтовой поверхности (условие идеальности рабочих поверхностей); рабочие части штампа – абсолютно жесткие тела; схватывание металла заготовки и рабочей поверхности штампа отсутствует.

Имеем следующее уравнение равновесия

$$\vec{F}_{tr} - \vec{P}_x = 0. \quad (3)$$

Выразим компоненты, входящие уравнение (3), через силу  $\vec{P}$

$$\mu \vec{P} \cos(\gamma) - \vec{P} \sin(\gamma) = 0. \quad (4)$$

После преобразований (4)

$$\mu = \operatorname{tg}(\gamma), \quad (5)$$

$$\gamma = \operatorname{arctg}(\mu) + \pi n, \quad n \in Z, \quad (6)$$

где  $Z$  – множество целых чисел.

Уравнение (6) выражает зависимость угла  $\gamma$  от коэффициента трения  $\mu$  при равенстве равнодействующей сил  $\vec{F}_{tr}$  и  $\vec{P}_x$  нулю.

Значения углов  $\gamma$ , при которых равнодействующая сил  $\vec{F}_{tr}$  и  $\vec{P}_x$  равна нулю при значениях коэффициента трения  $\mu$  от 0,1 до 0,5, приведены в табл. 1.

Таблица – Значения угла  $\gamma$  в зависимости от коэффициента трения  $\mu$  при равенстве равнодействующей сил  $\vec{F}_{mp}$  и  $\vec{P}_x$  нулю

Коэффициент трения, $\mu$	Угол $\gamma$ , градус
0,1	5,71
0,2	11,30
0,3	16,69
0,4	21,80
0,5	26,56

Из табл. 1 следует, что критический угол  $\gamma$ , при котором отсутствует проворачивание верхней подвижной части штампа под воздействием крутящего момента от силы  $\vec{P}_x$ , возрастает по мере увеличения коэффициента трения  $\mu$ . Из уравнения (5)

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\pi D}{h}. \quad (7)$$

Выразим соотношение (7) в виде графика (рис. 5) – этим графиком удобно пользоваться на практике при расчете геометрических параметров штампа.

Среднее значение критического угла  $\gamma$  между касательной к геликоидальной поверхности и горизонталью

$$\gamma = \arccos \left\{ \cos \left( \frac{\arctg \left[ \frac{\pi h (D + d)}{\pi^2 D d - h^2} \right]}{2} \right) \cos \left( \frac{\arctg \left[ \frac{\pi h (D - d)}{\pi^2 D d + h^2} \right]}{2} \right) \right\}.$$

При расчете штампов значения соотношений геометрических параметров лопастей  $\pi D/h$  и коэффициентов трения  $\mu$  всегда должны находиться выше кривой графика (рис. 5). В этих случаях величины крутящих моментов от усилий штамповки меньше величин моментов от сил трения.

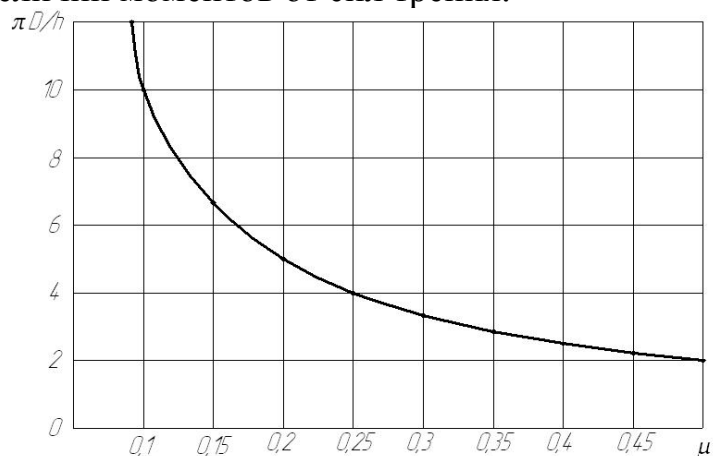


Рис. 5. Зависимость геометрического параметра лопасти  $\pi D/h$  от коэффициента трения  $\mu$  при критических значениях угла  $\gamma$

При этом отсутствует проворачивание верхней подвижной части штампа относительно нижней неподвижной его части.

Усилие штамповки лопасти определяется по калибрующему усилию на второй стадии штамповки. В общем виде усилие, потребное для штамповки, определяется выражением [6]  $P = qS$ , где  $q$  – давление калибровки при температуре металла на заключительной стадии штамповки,  $S$  – площадь заготовки под пуансоном.

**Выводы:** рассмотрена технология изготовления шнеков способом горячей формовки в штампе разрезных колец с последующей их сваркой. Даны зависимости для расчета размеров исходной заготовки и штампа. Определены параметры геликоидальной поверхности штампа, при которых отсутствует проворачивание его верхней подвижной части относительно нижней неподвижной.

**Список литературы:** 1. Гевко Б.М. Технология изготовления спиралей шнеков.– Львов: Вища школа, 1986. – 128 с. 2. Антоненко А.Г. Инженерный метод определения радиуса кривизны клиновидных заготовок при прокатке / А.Г. Антоненко., Г.А. Сагитов // Сортопрокатное производство : сб. науч. тр. – Х. : УкрНИИМет, 1980. – С. 19–23. 3. Разиньков Н.А. Технология изготовления лопастей шнеков комплекса УД-БШК2ДМ / Н.А. Разиньков // Физические и компьютерные технологии : тр. 12-й Междунар. науч.-техн. конф., г. Харьков, 7–8 июля 2006 г. – Х. : ХНПК «ФЭД», 2006. – С. 208–209. 4. Гордон В.О., Семенцов-Огиевский М.А. Курс начертательной геометрии. – М. : Наука, 1968. – 368 с. 5. Куриной Г.Ч. Математика : справочник. – Х. : Фолио. – Ростов на Дону : Феникс, 1997. – 463 с. 6. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. – 520 с.

УДК 621.777.4

**В.Л.КАЛЮЖНИЙ**, докт. техн. наук, проф.; НТУУ "КПІ", Київ  
**С.Ф.САБОЛ**, асист. НТУУ «КПІ», Київ

### **ВИЗНАЧЕННЯ ЧИННИКІВ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ЗНИЖЕННЯ ПИТОМИХ ЗУСИЛЛЯ ХОЛОДНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ ПОРОЖНИСТИХ ВИРОБІВ З РОЗТЯГНЕННЯМ СТІНКИ ЗАГОТОВКИ**

В результате разработки конечно- элементной математической модели и проведения численных экспериментов, установлено, что причинами, снижения удельного усилия на деформирующем инструменте в процессе холодного выдавливания полых осесимметричных изделий с растяжением стенки заготовки являются: изменение схемы напряженного состояния в очаге пластической деформации, локализация очага пластической деформации, а так же возникновение активных сил трения на поверхности контакта материала заготовки и матрицы.

В результаті розробки скінченно-елементної моделі та проведення чисельних експериментів, визначено, що до чинників які зумовлюють зниження питомих зусиль на деформуючому інструменті в процесі холодного видавлювання порожнистих вісесиметричних виробів з розтягненням стінки заготовки належить зміна схеми напруженого стану в осередку пластичної